

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Racionalizace výroby kostky závěsu

Rationalization of Hinge Block Production

Student:

Štěpán Pavliska

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student:

Štěpán Pavliska

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Racionalizace výroby kostky závěsu
Rationalization of Hinge Block Production

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu výroby kostek závěsu v podmínkách praxe.
2. Návrh nové technologie výroby kostek závěsu.
3. Technicko-ekonomické srovnání a závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-4.

AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-972299-4-6.


BRYCHTA, J.; CZÁN, A.; ČEP, R.; KRATOCHVÍL, J.; PETRŮ, J.; SADÍLEK, M.; STANČEKOVÁ, D.; ZLÁMAL, T. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Žilinská Univerzita v Žilině, 173 s., 2014, ISBN 978-80-248-3522-8.

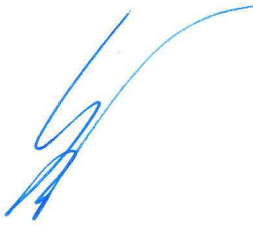
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o výrobním postupu, tvaru a rozměrech dílu, získaných od firmy Ferrit s.r.o., Staré Město. Firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018.



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018.

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Štěpán Pavliska

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Janáčkova 1451, Frýdlant nad Ostravicí, 73911

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAVLISKA, Š. *Racionalizace výroby kostky závěsu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 48 s. Vedoucí práce: Sadílek, M.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací výrobního procesu dílu kostky závěsu ve firmě Ferrit s.r.o. Jedná se o zefektivnění operace CNC frézování, přičemž se klade největší důraz na zkrácení strojních časů. Další faktory jako zjednodušení a zrychlení seřizování a následné obsluhy jsou ale také předmětem práce. V úvodu je provedena analýza původního výrobního postupu. Hlavní náplní práce je racionalizace jednotlivých úseků původního postupu. Toho bylo dosaženo použitím nových nástrojů a změnou řezných podmínek. Dále bylo zapotřebí vytvořit nové programy pro jednotlivé úseky a otestovat nový postup v podmínkách praxe. Nakonec bylo provedeno technicko-ekonomické srovnání obou postupů.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

PAVLISKA, Š. *Rationalization of Hinge Block Production: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 48 p. Thesis head: Sadílek, M.

The bachelor thesis is dealing with rationalization of hinge block part production process in the company of Ferrit Ltd. It's about making the CNC milling operation more efficient and the greatest emphasis is placed on shortening the machining time. Although other factors like simplifying and speeding up preparing and operating processes are part of the thesis as well. Previous state of production technology is described in the first part of the thesis. The main purpose of the thesis is rationalization of individual parts of previous manufacturing proces. That was achieved by using new tools and changing cutting conditions. Following tasks were writing new programs for individual sections and then testing new manufacturing process in practice. Eventually, both processes were compared from technical-economic standpoint

Obsah

Seznam použitých značek a zkratk	7
Úvod	8
1 Cíle bakalářské práce.....	9
2 O společnosti Ferrit s.r.o.	10
3 Základní polotovar.....	11
3.1 Obrobitelnost.....	12
4 Použité stroje, upnutí a měřidla	13
4.1 Měřidla.....	14
4.2 Upnutí	14
5 Původní technologický postup.....	16
6 Změny technologického postupu u jednotlivých upnutí.....	23
6.1 Změny technologického postupu 1. upnutí.....	23
6.2 Změny technologického postupu 2. upnutí.....	25
6.3 Změny technologického postupu 3. upnutí.....	29
7 Nový technologický postup	30
8 Výpočet výkonu vřetene.....	39
8.1 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 1.3.....	39
8.2 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 1.6.....	40
8.3 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 2.4.....	40
9 Technicko – ekonomické srovnání obou postupů	42
10 Závěr	44
11 Poděkování	45
12 Citace	46
13 Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	47
13.1 Seznam obrázků	47
13.2 Seznam tabulek	47
13.3 Seznam grafů.....	47
14 Seznam příloh	48

Seznam použitých značek a zkratk

a_e	Šířka záběru	[mm]
a_p	Hloubka záběru	[mm]
CAM	Computer Aided Manufacturing	
CNC	Computer Numeric Control	
D	Diameter – Průměr nástroje	[mm]
f_{ot}	Posuv na otáčku	[mm]
f_z	Posuv na zub	[mm]
h_m	Průměrná tloušťka třísky	[mm]
k_c	Měrná řezná síla	[N·mm ⁻²]
k_{c1}	Měrná řezná síla při průřezu třísky 1 mm ²	[N·mm ⁻²]
m_c	Nárůst měrné řezné síly v závislosti na tloušťce třísky	
P	Výkon vřetene	[kW]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
v_c	Řezná rychlosti	[m·min ⁻¹]
v_f	Posuvová rychlost	[mm·min ⁻¹]

Úvod

Cílem všech výrobních společností je vyrábět v požadované kvalitě s co nejnižšími náklady. Proto je nutné provádět průběžnou optimalizaci výrobního procesu. Optimalizace hraje nejdůležitější roli ve velkosériové a hromadné výrobě, kde může i nepatrné zlepšení znamenat velký nárůst zisku.

Optimalizace výrobního procesu však často vyžaduje nemalé časové i finanční investice. Proto je vždy zapotřebí zvážit, jestli je současný stav výroby opravdu natolik nevhodný, aby se tato investice vyplatila. Při tom hraje největší roli počet vyráběných kusů. V hromadné výrobě se rozsáhlé investice do optimalizace bezesporu vyplatí. U kusové výroby by naopak velké náklady na optimalizaci mohly v konečném důsledku znamenat ztrátu zisku.

Bavíme-li se o třískovém obrábění, které je předmětem této práce, možností pro optimalizaci je spousta. Základem je volba ideálních řezných podmínek. Jak si v této práci ukážeme, optimalizací řezných podmínek se dá často dosáhnout výrazných úspor výrobních nákladů bez nutnosti velkých investic. Toto však klade vysoké nároky na znalosti a zkušenosti technologa zejména v případě obrábění těžkoobrobitelných materiálů a při použití speciálních nástrojů a řezných materiálů. Toto nás přivádí k další možnosti optimalizace obrábění a tím je použití výkonnějších obráběcích nástrojů a řezných materiálů. Výrobci obráběcích nástrojů dnes nabízí nepřehledné množství různých druhů nástrojů pro různé obráběcí metody.

Největší investici do optimalizace představuje modernizace strojového parku společnosti. V oboru obrábění toto představuje nákup výkonnějších a přesnějších obráběcích strojů nebo automatických výrobních linek, které jsou schopny samy provádět výměnu obrobků. Kromě vysokých nákladů je zde velkou nevýhodou nutná vysoká odbornost seřizovačů a operátorů.

V této práci se jedná o přechod z kusové výroby v malosériovou. Proto byla optimalizace provedena úpravou řezných podmínek a použitím vhodnějších nástrojů. Pro výrobu dílu by samozřejmě bylo ideální 5-osé frézovací centrum. Vzhledem k počtu vyráběných kusů by se ale tato investice nevyplatila.

1 Cíle bakalářské práce

Hlavním cílem této bakalářské práce byla racionalizace řezných podmínek při frézování kostky závěsu ve firmě Ferrit s.r.o. za účelem zkrácení strojního času a tím snížení nákladů na výrobu. Toho bylo dosaženo použitím nových technologií a nástrojů, případně optimalizací technologie původní při zachování požadované kvality vyrobeného dílu a bezpečnosti výrobního procesu.

Pro dosažení těchto určených cílů bylo zapotřebí:

1. posouzení původní technologie a rozhodnutí, které úseky budou optimalizovány a které zůstanou zachovány,
2. výběr vhodných nástrojů z vybavení firmy, případně nákup nových,
3. návrh nových řezných podmínek pro úseky vybrané k optimalizaci,
4. vytvoření programů pro jednotlivé úseky v CAM systému, případně ruční úprava původních programů,
5. ověření nově zvolených technologií a úprava řezných podmínek při výrobě dílu,
6. finální úprava řezných podmínek na základě sledování řezného procesu, úprava programů do finální podoby pro sériovou výrobu,
7. technicko - ekonomické srovnání nového a původního procesu výroby.

2 O společnosti Ferrit s.r.o.

Společnost Ferrit s.r.o. je soukromá česká firma založená v roce 1993 jako obchodní společnost v oblasti těžebního průmyslu. Poté se z obchodní společnosti transformovala na společnost výrobní s vlastní vývojovou základnou. V současné době firma působí v Rusku, Ukrajině, Kazachstánu, Polsku, Slovensku, Bosně a Hercegovině, Turecku, Číně, Vietnamu, Mexiku, Kolumbii, Chile a snaží se rozšířit svoje aktivity do dalších zemí, jako je Jižní Afrika, Indonésie, Austrálie, Argentina a Indie¹.

Firma se zabývá výrobou důlních strojů a zařízení a nabízí komplexní řešení dopravy osob a materiálu ve všech typech důlních děl. Největší podíl produkce tvoří závěsný dopravní systém, dále také kolejové dopravní systémy a stroje s kolovým a pásovým podvozkem. Dále firma nabízí stroje a zařízení určené pro činnosti, které bezprostředně navazují razícím a dobývacím pracím. Jedná se o stroje a zařízení pro manipulaci při postupujících důlních činnostech. Pro drcení a usměrňování těživa v odtěžovacích linkách firma nabízí drtiče různých provedení a velikostí. Mezi další produkty patří také zařízení pro renovaci a ekologickou likvidaci důlní výztuže a výstroje, kontrolní a měřicí přístroje nebo různé elektronické, či elektrické prvky a systémy. V neposlední řadě firma nabízí přepravní soupravy pro záchranáře pro případ nenadálých událostí a havárií v dolech¹.

Společnost založili bývalí zaměstnanci obchodního oddělení firmy Ferrum. Před revolucí v roce 1889 dostávaly výrobní podniky kvóty. Doly byly proto v důsledku plánovaného hospodářství předzásobené stroji. Po revoluci se situace na trhu radikálně změnila. Předzásobené podniky náhle přestaly nakupovat nové stroje a bylo potřeba hledat nové zákazníky. Zpočátku firma Ferrit pouze fungovala jako zprostředkovatel pro těžební společnosti. Jedním z hlavních zákazníků byla firma OKD. Společnost Ferrit zajišťovala dodání náhradních dílů a zajišťovala opravy. Po čase si ale výrobci důlní techniky začali budovat vlastní obchodní oddělení a firma Ferrit tak po 3 letech fungování jako obchodní společnost začala vyrábět vlastní stroje².

3 Základní polotovary

Materiálem dílu je vysokopevnostní konstrukční ocel 1.8928 s označením S690QL. „S“ znamená konstrukční ocel, „690“ znamená minimální mez kluzu $R_{e\ min} = 690\ MPa$, „Q“ znamená, že je ocel dodávána v kaleném a popouštěném stavu a písmeno „L“ značí, že teplota zkoušky vrubové houževnatosti je $40\ ^\circ C^3$.

Jedná se o vysoce legovanou ocel, která díky svému chemickému složení a mechanickým vlastnostem disponuje výbornou svařitelností a ohebností. Pro svou pevnost se nejčastěji využívá ke stavbě strojů a ocelových konstrukcí. Její využití umožňuje konstruovat součásti tenčího průřezu³. To vede ke snížení nákladů na materiál a snížení hmotnosti konstrukce.

Tab. 1 – Chemické složení materiálu⁴

Chemické složení [%]							
C	Si	Mn	P	S	N	B	Cr
0,2	0,8	1,7	0,025	0,015	0,015	0,005	1,5
Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr	
0,5	0,7	0,06	2	0,05	0,12	0,15	

Tab. 2 – Mechanické vlastnosti materiálu⁴

Mechanické vlastnosti						
Mez kluzu R_e [MPa]			Pevnost v tahu R_m [MPa]			Tažnost [%]
Jmenovitá tloušťka [mm]			Jmenovitá tloušťka [mm]			
3-50	50-100	100-150	3-50	50-100	100-150	
690	650	630	770-940	760-930	710-900	14

Polotovarem je výpalek z plechu o jmenovité tloušťce 80 mm a rozměrech 165x150 mm. Pro dělení materiálu byla použita technologie řezání kyslíkovým plamenem, která je vhodná pro řezání tlustých ocelových plechů. Vlivem příliš velké rychlosti hořáku někdy může dojít k tomu, že nebude dodržena kolmost pálených stěn. Vzhledem k relativně malému přídavku pro obrábění na čele (0,5mm) je v tomto případě nutné při prvním upnutí výpalek podložit na čelisti svěráku tenkým plechem vhodné tloušťky, aby čelní plocha byla rovnoběžná s plochou stolu.

3.1 Obrobitelnost

Poměrně velké množství legujících prvků obsažených v oceli 1.8928 spolu s tepelným zpracováním má negativní vliv na obrobitelnost. Malý obsah uhlíku má způsobuje sklon k adhezivnímu opotřebení, tvorbu nárůstku a obtížnější dělení třísky. Chrom, molybden, vanad, titan a niob zvyšují opotřebení otěrem⁵.

Ocel však obsahuje i prvky, které mají pozitivní vliv na obrobitelnost jako například síra, která spolu s manganem vytváří sulfid manganu. Sulfidové vměstky usnadňují dělení třísky a působí jako druh mazacího prostředku⁵. Při použití povlakovaných slinutých karbidů je tato ocel poměrně dobře obrobitelná. Řezné síly při hrubování jsou ale dost vysoké, proto je zapotřebí klást větší důraz na tuhost upnutí a vyložení nástroje.

4 Použité stroje, upnutí a měřidla

Pro výrobu dílu se používají tříosá CNC frézovací centra s řídicím systémem Heidenhain iTNC530. Strojní park ve firmě Ferrit s.r.o. disponuje čtyřmi stroji tohoto typu. Dva z nich jsou frézovací centra MCV 1270 POWER od firmy KOVOSVIT MAS, a.s., dále jedno frézovací centrum MCFV 1680 od výrobce TAJMAC – ZPS, a.s. a jedno frézovací centrum MC 100 VA od výrobce TRENS SK, a.s. Výroba kostek závěsu se provádí na strojích MCV 1270 POWER a MCFV 1680. Použité stroje se stejně jako výchozí polotovar nemění ani pro nový způsob výroby. V následující tabulce jsou uvedeny některé technické parametry obou strojů.

Tab. 3 – Technické parametry strojů pro výrobu dílu^{6,7}

	MCV 1270 POWER	MCFV 1680
Pracovní rozsah X-osa (mm)	1270	1650
Pracovní rozsah Y-osa (mm)	610	810
Pracovní rozsah Z-osa (mm)	720	810
Kuželová dutina vřetena	ISO 50	ISO 50
Max. otáčky (min^{-1})	8000	8000
Pracovní posuv ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	40 000	30 000
Rychloposuv ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	40	30
Výkon motoru vřetena (S1/přetížení S6 – 40%) (kW)	28 / 43	17 / 25
Jmenovitý krouticí moment (S1/přetížení S6 – 40%) (Nm)	406 / 623	143 / 210



Obr. 1 – Vertikální obráběcí centrum MCV 1270⁶



Obr. 2 – Vertikální obráběcí centrum MCFV 1680⁷

4.1 Měřidla

Tab. 4 – Seznam měřidel

M1	Třmenový mikrometr 125 – 150 mm
M2	Třídutkový dutinoměř Ø60 – 70 mm
M3	Třmenový mikrometr 25 – 30 mm
M4	Závitový kalibrační trn M16-6H

4.2 Upnutí

Pro 1. a 2. upnutí se z důvodu poměrně velkých řezných sil při hrubování používají mechanicko-hydraulické svěráky od tchajwanského výrobce Safeway, které u nás dodává společnost TGS, s.r.o. Konkrétně se jedná o model VHV-160V o šířce čelistí 160 mm výšce čelisti 55 mm a maximálním rozevření o délce 300 mm. Tento svěrák umožňuje mnohem spolehlivější upnutí, než klasické mechanické svěráky, kde je upínací síla vyvozena pouze utažením kliky. Operátor má možnost kromě hydraulického upnutí i použití čistě mechanického upínání nebo kombinaci obou typů pro dosažení maximálního tlaku na čelistech. Upínací síla může být přesně definována díky ryskám, které jsou znázorněny na vodící ploše otočného mechanismu svěráku, který se dotahuje a uvolňuje šestihrannou klikou.

Čelisti jsou vybaveny řadami přesných čepů, které se dají libovolně vysunout. Tím se dá jednoduše nastavit výška upnutí bez nutnosti používání klasických přesných broušených podložek, které se mohou při obrábění uvolnit a poškodit nástroj při obrábění průchozích otvorů. Pro vytažení čepů není nutné demontovat celou čelist, protože na bocích čelistí jsou otvory, díky kterým se dají čepy vysunout pomocí stlačeného vzduchu.



Obr. 3 – Použitý mechanicko-hydraulický svěrák se speciálními čelistmi s čepy

Pro 3. a 4. upnutí se používá klasický mechanický svěrák o šířce čelisti 180 mm a výšce 60 mm. Maximální délka rozevření je rovněž 300 mm. Při 3. a 4. upnutí jsou řezné síly velmi malé, proto je tento typ upnutí naprosto dostačující.

Upnutí svěráku je realizováno pomocí speciálních upínek, které dodává výrobce spolu se svěrákem. U 1. a 2. upnutí je zapotřebí použít 4 upínky z důvodu dostatečné spolehlivosti upnutí a také, aby spodní strana svěráku dokonale dosedla ke stolu. To je zejména důležité u 2. upnutí, aby byla dodržena tolerance šířky podstavu. U 3. a 4. upnutí postačí použití dvou upínek.

Čelisti svěráků mají na bocích vyřezané díry se závitem M10, aby bylo možné k nim přišroubovat doraz. Použití dorazu je nutné u všech upnutí včetně druhého i přesto, že se u každého kusu definuje poloha nulového bodu dotykovou sondou. Sonda totiž najíždí na původní polohu nulového bodu, a proto je zapotřebí alespoň přibližné ustavení kusu do této polohy. Poloha nulového bodu na prvním kusu z dávky se proto musí definovat ručně.

5 Původní technologický postup

Uvádí se pouze postup pro operaci frézování na uvedených strojích. Další operace jako například kontrola, pokovení či manipulace zůstávají zachovány i po změně technologického postupu a nejsou předmětem této práce.

Tab. 5 – Seznam nástrojů pro původní postup

Číslo nástr.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T1	Nástrčná fréza rohová (Taegutec)		80	3P TF90-780-27R-15	
	DIN 69871-SEM	Vnější	3PKT 150508R-M	4	
					
T2	Stopková hrubovací fréza (Taegutec)		32	TEBL 332-32-09-L160	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	BLMP 0904R-ML	2	
					
T3	Stopková rohová fréza (Taegutec)		32	3P TE90-332-W32-15	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	3PKT 150508R-M	2	
					

Číslo nástr.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD	Počet úseků	
T4	Stopková úhlová fréza 45° (Tageutec)		33,9	TCF45 D19-11	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Žádné	SPMT 110408-EM	2	
					
T5	Stopková kopírovací fréza s rádiusem špičky R1 (Pramet)		12	12K2R030A12-SLC12-A	
	DIN69871-TMC (silový upínač)	Vnitřní- skrz upínač	LC 1210-KP	3	
					
T6	Karbidoý monolitní srážecí hran 45° (Taegutec)		12	CEM 1216	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Vnější nebo vnitřní skrz upínač		3	
					

Číslo nástř.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T7	Toroidní fréza s rádiusem špičky R5 (Innotool)		52	52F6R-SMORP10P	
	DIN 69871-SEM	Vnější	RHKW1003M0TN		1
					
T8	Vrták s VBD (Kennametal)		51	DFT510R2WD40M	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	DFT090508GD		1
					
T9	Nastavitelná vystružovací hlava (Pinzbohr)		63-82	A 05490 402	
	AS 350 054 160	Vnější	CCMT120404 (Mitsubishi)		1
					
T10	Monolitní karbidová dokončovací fréza s válcovou stopkou (Taegutec)		20	SEH 6200T	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Vnější nebo vnitřní skrz upínač			1
					

Číslo nástroje	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T11	Monolitní karbidová dokončovací fréza s válcovou stopkou (Taegutec)		12	SEH 6120T	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Vnější nebo vnitřní skrz upínač		1	
					
T12	Korunkový vrták (Taegutec)		14	TCD 140-144-16T3-5D	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	TCD-140-P		2
					
T13	Řezný závitník do slepého otvoru M16-6H (Dormer)		16	ČSN 22 3020 EX01M16	
	TA 2-M16 Adaptér	Mazání pastou		2	
					
T14	Obrobková sonda s optickým přenosem signálu OMP 60 (Renishaw)				

Tab. 6 – Původní technologický postup

Technologický postup (původní)			Název součásti: Kostka závěsu			Listů: 3		List: 1
Materiál: 1.8928			Polotovár: P 80			Č. výkresu: PAV0295		
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51		Výrobní dávka: 50 ks		
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku	v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	čas [min:s]
1.1		Upnout do svěráku k dorazu						0:30
1.2	T1	Frézovat čelo na tloušťku 79,5 mm	200	0,14	1	0,5	75	1:30
1.3	T8	Vrtat středový otvor vrtacím cyklem s odskokem po 1 mm	80		0,1			2:17
1.4	T2	Hrubovat středový otvor $\varnothing 65$ s přídkem 0,7 mm na stěnu	200	0,37	1,1	1	6,3	4:03
1.5	T4	Srazit hranu na $\varnothing 65$ 1x45°	146	0,32	0,63	1	1	0:16
1.6	T9	Vystružit otvor $\varnothing 65$ s přídkem 0,5 mm na stěnu	130		0,12		0,2	1:13
1.7	T3	Hrubovat obvod podstavy do hloubky 31 mm s přídkem 0,2 mm na stěnu	200	0,25	0,75	2	2,3	9:15
1.8	T10	Dokončit obvod podstavy	113		0,44	30	0,2	1:00
1.9	T3	Hrubovat tvarovou kapsu	200	0,17	0,5	1,5	13	1:21
1.10	T5	Hrubovat tvarovou kapsu s přídkem 0,2 mm na stěnu a frézovat sražení hrany na dně kapsy	264	0,14	0,29	0,2		6:13
1.11	T11	Dokončit tvarovou kapsu	190		0,16	5	0,2	0:35
1.12	T6	Srazit hranu na podstavě 0,3x45°	100	0,2	0,2	0,3	0,3	0:52
1.13	M1	Měřit rozměr 145 (-0,05, -0,1) s ohledem na tloušťku pokovení. Požadovaný rozměr po obrobení: 145 (-0,07, -0,12)						0:20

Technologický postup (původní)			Název součásti: Kostka závěsu			Listů: 3		List: 2
Materiál: 1.8928			Polotovár: P 80			Č. výkresu: PAV0295		
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51		Výrobní dávka: 50 ks		
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku	v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	čas [min:s]
2.1		Upnout do svěráku za obrobenou plochu z 1. upnutí za výšku 20 mm k dorazu						0:30
2.2	T14	Definovat polohu nulového bodu ve středu díry pomocí automatického cyklu						0:45
2.3	T1	Frézovat čelo na tloušťku 79 mm	200	0,14	1	0,5	75	1:30
2.4	T1	Hrubovat tvarovou plochu s přídkem 0,5 mm	200	0,14	1	2		34:16
2.5	T7	Dokončit tvarovou plochu	260	0,31	1,88	0,3	0,5	47:49
2.6	T1	Zarovnat rohy mezi tvarovou plochou a podstavou (šikmá plocha nebude dokončená až k podstavě)	200	0,1	0,75	5	5	1:00
2.7	T2	Hrubovat otvor $\varnothing 65$ s přídkem 0,1 mm na stěnu	220	0,45	1,36	1	0,4	3:04
2.8	T4	Srazit hranu na $\varnothing 65$ 1x45°	182	0,15	0,3	1	1	0:26
2.9	T9	Vystružit středový otvor	133		0,06		0,1	2:13
2.10	M2	Měřit otvor $\varnothing 65H7$ s ohledem na tloušťku pokovení. Požadovaný rozměr po obrobení: $\varnothing 65 (+0,02, +0,05)$						0:15
2.11	M3	Měřit rozměr 29 (-0,1, -0,2) s ohledem na tloušťku pokovení v každém rohu. Požadovaný rozměr po obrobení: 29 (-0,12, -0,22)						0:30

Technologický postup (původní)			Název součásti: Kostka závěsu				Listů: 3		List: 3	
Materiál: 1.8928			Polotovár: P 80			Č. výkresu: PAV0295				
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51			Výrobní dávka: 50 ks			
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku			v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	čas [min:s]
3.1	Upnout do svěráku k dorazu podstavou k pevné čelisti.									0:30
3.2	T12	Vrtat 4x díru pro závit M16-6H do hl. 38 mm s výplachem po 19 mm			88		0,15			0:42
3.3	T5	Frézovat díry pro závit M16-6H frézováním po spirále na Ø14,1 do hl. 37 mm			207	0,075	0,15	0,2	0,05	6:46
3.4	T6	Srazit hrany na dírách pro závity			75	0,17	0,17	1	1	0:14
3.5	Vyfoukat díry pro závity, mazat pastou EMUGE									0:30
3.6	T13	Řezat 4x závit M16-6H do hl. 32 mm			9		2			1:01
4.1	Otočit kus a znovu spustit program pro druhou stranu									9:43
4.2	M4	Kontrolovat jeden závit na kusu								0:20
		Odjehlit všechny ostré hrany, očistit a uložit na paletu								1:30
Výrobní časy [min:s]										
Upnutí		Strojní čas			Vedlejší čas			Celkem		
1		28:35			0:50			29:25		
2		91:03			1:15			92:18		
3 a 4		17:26			3:50			21:16		
Σ		137:04			5:55			142:59		

6 Změny technologického postupu u jednotlivých upnutí

6.1 Změny technologického postupu 1. upnutí

Nejvýraznější úspora času u prvního upnutí byla docílena změnou technologie hrubování obvodové plochy podstavy. Namísto způsobu odebrání materiálu po jednotlivých vrstvách $a_p = 2 \text{ mm}$ standardní rohovou frézou byla použita speciální ježková fréza MILL RUSH od výrobce TaeguTec ČR s.r.o. Tato fréza umožňuje hloubku záběru a_p až 40 mm díky čtyřem řadám břitových destiček umístěných nad sebou. Bylo tedy možné celý obvod podstavy vyhrubovat pouze jedním průchodem frézy. Další výhodou použití této ježkové frézy je, že každá hrana břitových destiček překrývá špičku břitové destičky umístěné o řadu výš. Toto umožňuje opětovné použití břitových destiček s již opotřebovanými špičkami s výjimkou spodní řady, ve které jsou špičky destiček v záběru. Břitové destičky 3PKT 15, kterými je tato fréza osazena se používají i u několika jiných nástrojů ve firmě. Jejich opětovné použití proto vede k dalšímu snížení výrobních nákladů.

Nevýhodou je značné zvětšení sil při obrábění. To vede k většímu zatížení vřetene, a jsou kladeny větší nároky na výkon obráběcího stroje a tuhost upnutí. Také dochází ke zvýšení hlučnosti rezného procesu. Kvalita obrobené plochy není moc dobrá, proto bylo zapotřebí dokončit obvod podstavy monolitní frézou.



Obr. 4 – Použitá nástrčná ježková fréza Ø50 mm

Další změna technologického postupu spočívá v použití vrtáku menšího průměru pro předvrtání středového otvoru. To umožňuje zvýšení otáček a tím i zvýšení posuvové rychlosti. Pro vrtání středové díry byl použit vrták pro vrtání mělkých otvorů s vyměnitelnými břitovými destičkami od výrobce Kennametal Inc.



Obr. 5 – Použitý vrták Ø43 mm s VBD upnutý v upínači WELDON

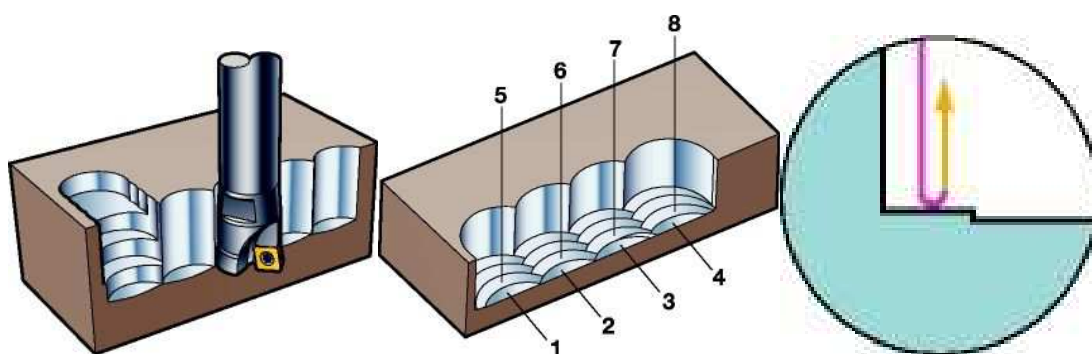
Ostatní časové úspory spočívají v eliminaci přebytečných drah a ve zrychlení posuvů. K největšímu zrychlení posuvu došlo při hrubování předvrtané středové díry, kde byl posuv v původním postupu značně poddimenzován a nebyl zdaleka využit potenciál stroje a nástroje. Pro hrubování středového otvoru po vrtání byla použita stopková fréza CHASE2FEED BLMP09 od výrobce TaeguTec ČR s.r.o. Břítové destičky této frézy mají zakulacený tvar ostří. Silové zatížení břitu je díky tomu rozloženo rovnoměrně po celé jeho délce a ne pouze na špičce, jak tomu je u rohových fréz. To umožňuje použití několikanásobně většího posuvu na zub bez nebezpečí lomu břitu. Nevýhodami jsou větší zatížení vřetene a větší nároky na tuhost upnutí. Také je většinou nutné použití dokončovacích operací, protože fréza zanechává výrazné stopy na bočních plochách a není možné s ní vyrobit ostrý roh na dně.



Obr. 6 – Použitá fréza pro hrubování středového otvoru

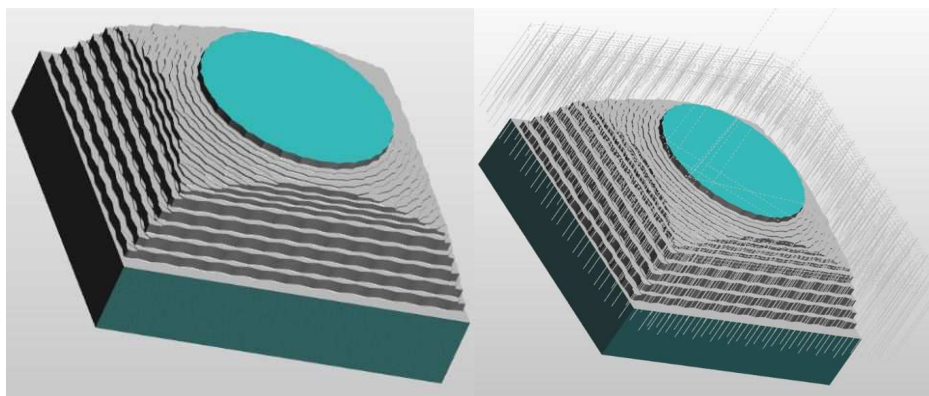
6.2 Změny technologického postupu 2. upnutí

Při druhém upnutí došlo k největším časovým úsporám díky optimalizaci frézování tvarové plochy. Pro hrubování byla nejprve zvolena technologie „*Plundrování (angl. Plunge milling)*“. Metoda spočívá v tom, že namísto odebírání materiálu radiálním posuvem při definované hloubce záběru a_p se materiál odebírá axiálním posuvem frézy shora dolů při definované šířce záběru a_e . Nejlepší uplatnění má tato metoda při frézování otevřených kapes. Plundrováním je možné obrábět i uzavřené kapsy, je však nutné předvrtání vrtákem. Při plundrování nedochází k průhybu frézy, a proto je tato metoda vhodná pro frézy větší délky. Další výhodou je výrazné snížení zatížení vřetene díky tomu, že největší rázy vznikají v axiálním směru. To vede k prodloužení životnosti vřetene a snížení hlučnosti řezného procesu.



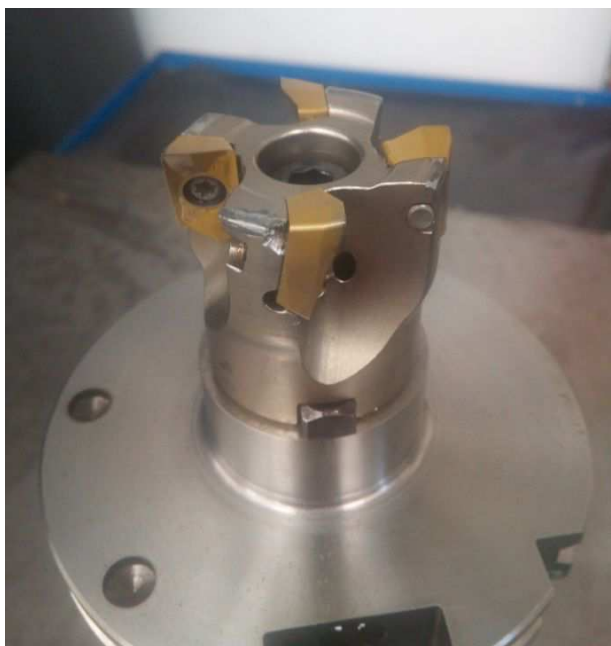
Obr. 7 – Schématické znázornění technologie „Plunge milling“⁸

Nevýhodou je nutnost použití dokončovacích operací, protože touto technologií nelze vyrobit rovnou boční plochu a drsnost čelní plochy je velmi špatná. Plundrování je také technologicky náročnější. Aby byl řezný proces optimální, je zapotřebí použití programovacích CAM systémů. Aby se nástroj při pohybu nahoru neotíral o obrobenou plochu, je nutné provést odskok nástroje od obrobené plochy v radiálním směru. To vede ke zvýšení počtu přejezdových drah a tím i ke zvýšení nároků kladených na programátora.



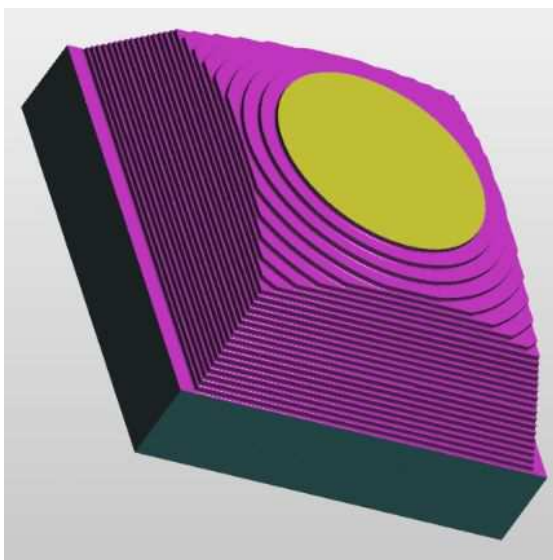
Obr. 8 – Vyhrubovaná tvarová plocha technologií „Plunge milling“

Pro plundrování byla zvolena 4-břítá nástrčná fréza o průměru 40 mm od výrobce Pramet Tools, s.r.o. Fréza je osazena břitovými destičkami ADMX vhodnými pro tuto technologii. Nejprve byly použity řezné parametry doporučené výrobcem. Řezný proces byl stabilní a výrazně se nížila hluchnost. Bylo ale dosaženo pouze nevýrazné časové úspory. Ve snaze o výraznější zkrácení strojního času byl překročen maximální posuv stanovený výrobcem. Tím se ale zvýšilo silové namáhání břitu a namísto postupného opotřebení docházelo k jeho náhlému lomu. Toto je nepřijatelné, protože dochází k odírání lůžka břitu o materiál a k poškození frézy. Nebyl tedy splněn požadavek na bezpečnost, proto bylo potřeba v tomto případě zvolit jiný způsob hrubování tvarové plochy. Technologie plundrování se ale od té doby ve firmě s úspěchem používá k výrobě jiných dílů, které jsou pro její použití vhodnější. Na obr. 9 je vidět poškozené lůžko použité frézy.



Obr. 9 – použitá fréza pro plundrování Ø40 mm

Časové úspory při hrubování tvarové plochy bylo nakonec dosaženo optimalizací původní technologie radiálního frézování. Byly upraveny přejezdy nástroje tak, aby se nástroj mimo materiál pohyboval rychloposuvem namísto stálého pohybu pracovním posuvem, jak tomu bylo původně. Došlo také ke zvětšení posuvu na zub. Byla použita proměnlivá posuvová rychlost, protože při frézování spodních vrstev je menší průřez odebírané vrstvy, což umožňuje zrychlení posuvu na zub. Hloubka třísky a_p byla zachována, aby opět nedocházelo k příliš silným rázům a lomům břitu.



Obr. 10 – Tvarová plocha vyhrubovaná radiálním frézováním

Došlo také ke změně použitého nástroje. Namísto frézy s břitovými destičkami 3PKT15 od výrobce TaeguTec ČR, s.r.o. byla použita fréza stejného průměru s destičkami ADMX od stejného výrobce, které jsou hrubší a díky většímu úhlu břitu vhodnější pro hrubovací operace. Také byl namísto dlouhého upínacího trnu použit krátký, aby se zmírnil průhyb nástroje a tím i vznikající rázy. Těmito úpravami bylo dosaženo výrazné časové úspory. Řezný proces byl stabilní a bezpečný a vznikající rázy a hlučnost byly v mezích únosnosti.



Obr. 11 – Nalevo původní použitá fréza, napravo nově použitá fréza pro hrubování tvarové plochy

Další výrazné časové úspory ve druhém úseku bylo dosaženo změnou použitého nástroje pro dokončení tvarové plochy. Změna spočívala v použití frézy menšího průměru se stejným počtem zubů. To umožnilo použití větších otáček a tím zvýšení posuvové rychlosti při zachování posuvu na zub. Pro kopírovací frézování tvarových ploch je vhodné použití fréz s větším počtem zubů. Dochází totiž k velmi malému úběru materiálu, a proto není zapotřebí velkých zubových mezer.

Pro dosažení časových úspor při radiálním frézování je nejúčinnější cestou použití větší hloubky záběru a_p a většího posuvu na zub f_z . U kopírovacího frézování šikmých a tvarových ploch toto není vždy možné, protože obě veličiny mají vliv na drsnost obrobene plochy. Proto je v tomto případě nejlepší cestou použití fréz s velkým počtem zubů a řezných materiálů, schopných snášet vysoké řezné rychlosti.

Namísto nástrčné frézy byla použita frézovací hlavička, která se jednoduše našroubuje na kuželový upínací trn. Pravý závit na pravotočivé fréze zajišťuje, že se fréza při záběru neuvolní. Břitové destičky RDMX od výrobce TaeguTec ČR, s.r.o., kterými je tato fréza osazena dovolují použití poměrně vysokých řezných rychlostí. V kombinaci s velkým počtem zubů se jedná o ideální nástroj pro vysokorychlostní kopírovací operace.



Obr. 12 – Použitá fréza pro dokončení tvarové plochy Ø42 mm

Další časové úspory byly dosaženy eliminací přebytečných drah a zrychlením posuvu při hrubování středového otvoru stejně, jako tomu bylo při prvním upnutí. Také bylo upraveno dokončení rohu mezi šikmou plochou 20° a podstavou pomocí CAM systému. Toroidní fréza totiž zanechává rádius a v původním postupu bylo dokončení rohu programováno ručně a šikmá plocha proto nebyla vyrobena úplně v souladu s výkresem.

Pro dodržení souososti obou stran se používá dotyková sonda značky RENISHAW. Středový otvor se nejprve v prvním upnutí vyrobí na $\varnothing 64$ mm a poté se podle něj pomocí automatického cyklu definuje poloha nulového body při druhém upnutí. Důvodem, proč se středový otvor nevyrábí na konečný rozměr hned v prvním upnutí je nebezpečí jeho deformace účinkem uvolnění vnitřního pnutí po obrábění při druhém upnutí.

6.3 Změny technologického postupu 3. upnutí

Při řezání závitů do tohoto materiálu bylo zapotřebí zvětšit předvrtané díry o průměru 14 mm o 0,1 mm, protože docházelo k lomu závitníku. V původním postupu se díry zvětšily frézováním po spirále dvoubřitou frézou o průměru 12 mm. Korunkový vrták $\varnothing 14$ mm použitý k předvrtání děr umožňuje použití korunky většího průměru. Byla tedy použita korunka o průměru 14,1 mm a díry byly jednoduše předvrtány na požadovaný rozměr bez nutnosti dalšího frézování.



Obr. 13 – Nalevo použitý korunkový vrták, napravo vyměnitelná korunka $\varnothing 14,1$ mm




Další změnou je použití jiného nástroje ke zkosení hran na dírách pro závity. Původně se používala monolitní karbidová úhlová fréza. V podstatě se jednalo o vyřazené karbidové vrtáky, které už byly příliš krátké a tak byly přebroušeny ke srážení hran s úhlem 45° . Nový použitý nástroj je osazen vyměnitelnou břitovou destičkou. Při otupení proto stačí pouze otočit destičku a není třeba upínat a měřit nový nástroj. Tato změna však neměla žádný vliv na strojní čas.

7 Nový technologický postup

Tab. 7 – Seznam nástrojů pro nový postup

Číslo nástř.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T1	Nástrčná fréza rohová (Taegutec)		80	TFM90AN 780-27R-16	
	DIN 69871-SEM	Vnější	ANHX 160708R-ML	3	
					
T2	Stopková hrubovací fréza (Taegutec)		32	TEBL 332-32-09-L160	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	BLMP 0904R-ML	2	
					
T3	Stopková rohová fréza (Taegutec)		32	3P TE90-332-W32-15	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	3PKT 150508R-M	1	
					

Číslo nástr.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení/ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T4	Stopková úhlová fréza 45° (Tageutec)		33,9	TCF45 D19-11	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Žádné	SPMT 110408-EM	2	
					
T5	Stopková kopírovací fréza s rádiusem špičky R1 (Pramet)		12	12K2R030A12-SLC12-A	
	DIN69871-TMC (silový upínač)	Vnitřní- skrz upínač	LC 1210-KP	1	
					
T6	Jednobřitá fréza ke srážení hran 45° (Nine9)		14		
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Žádné	N9MT11T3CT-NC40	3	
					
T7	Nástrčná ježková fréza		50	3P TES D50-40-22R-15	
	DIN 69871-SEM	Vnější	3PKT 150508R-M	1	
					

Číslo nástroje	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení / ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T8	Frézovací hlavička s rádiusem špičky R5 (Taegutec)		42	TERY 642-M16-10	
	DIN69871-ODP (Modulární upín.)	Vnitřní	RYMX 1004-M		1
					
T9	Stopková rohová fréza (Taegutec)		32	3P TE90-532-W32-10	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	3PKT 100408R-M		1
					
T10	Monolitní karbidová dokončovací fréza s válcovou stopkou (Taegutec)		20	SEH 6200T	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Vnější nebo vnitřní skrz upínač			1
					

Číslo nástř.	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení / ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T11	Monolitní karbidová dokončovací fréza s válcovou stopkou (Taegutec)		12	SEH 6120T	
	Din 69871-ER (kleštinový upínač)	Vnější nebo vnitřní skrz upínač			1
					
T12	Korunkový vrták (Taegutec)		14,1	TCD 140-144-16T3-5D	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	TCD-141-P		2
					
T13	Vrták s VBD (Kennametal)		43	DFT430R2WD40M	
	DIN 69871-EM (WELDON)	Vnitřní	DFT070408MD		1
					

Číslo nástroje	Popis nástroje		Průměr [mm]	Katalog. označení / ISO	
	Upnutí	Chlazení	VBD		Počet úseků
T14	Nastavitelná vystruž. Hlava (Pinzbohr)		63-82	A 05490 402	
	AS 350 054 160	Vnější	CCMT120404 (Mitsubishi)		2
<div></div>					
T15	Řezný závitník do slepého otvoru M16-6H (Dormer)		16	ČSN 22 3020 EX01M16	
	TA 2-M16 Adaptér	Mazání pastou			2
<div></div>					
T16	Obrobková sonda s optickým přenosem signálu OMP 60 (Renishaw)		<div></div>		

Tab. 8 – Nový technologický postup

Technologický postup (nový)			Název součásti: Kostka závěsu			Listů: 3		List: 1	
Materiál: 1.8928			Polotovary: P 80			Č. výkresu: PAV0295			
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51		Výrobní dávka: 50 ks			
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku	v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	čas [min:s]	
1.1		Upnout do svěráku k dorazu						0:30	
1.2	T1	Frézovat čelo na tloušťku 79,5 mm	200	0,14	1	0,5	75	0:55	
1.3	T7	Hrubovat obvod podstavy do hloubky 31 mm s přídavkem 0,2 mm na stěnu	188	0,11	0,33	31	2,3	2:06	
1.4	T10	Dokončit obvod podstavy	113		0,44	30	0,2	1:00	
1.5	T13	Vrtat středový otvor vrtacím cyklem s odskokem po 1 mm	95		0,14			1:07	
1.6	T2	Hrubovat otvor $\varnothing 65$ s přídavkem 0,7mm na stěnu	221	0,6	1,8	1	10,3	2:14	
1.7	T4	Srazit hranu otvoru $\varnothing 65$ 1x45°	228	0,2	0,4	1	1	0:11	
1.8	T3	Hrubovat tvarovou kapsu	200	0,17	0,5	1,5	13	1:21	
1.9	T5	Hrubovat tvarovou kapsu s přídavkem 0,2 mm na stěnu + sražení hrany na dně	264	0,2	0,4	0,2		4.36	
1.10	T11	Dokončit tvarovou kapsu	188		0,16	5	0,2	0:35	
1.11	T6	Srazit hranu na podstavě 0,3x45°	150	0,3	0,3	0,3	0,3	0:21	
1.12	M1	Měřit rozměr 145 (-0,05, -0,1) s ohledem na tloušťku pokovení. Požadovaný rozměr po obrobení: 145 (-0,07, -0,12)						0:20	

Technologický postup (nový)			Název součásti: Kostka závěsu			Listů: 3		List: 2
Materiál: 1.8928			Polotovár: P 80			Č. výkresu: PAV0295		
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51		Výrobní dávka: 50 ks		
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku	v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	Čas [min:s]
2.1		Upnout do svěráku za obrobenou plochu z 1. upnutí za výšku 20 mm k dorazu						0:30
2.2	T16	Definovat polohu nulového bodu ve středu díry pomocí automatického cyklu						0:45
2.3	T1	Frézovat čelo na tl. 79 mm	200	0,14	1	0,5	75	0:55
2.4	T1	Hrubovat tvarovou plochu s přídkem 0,5 mm	200	0,2 ¹ 0,25 ²	1,4 ¹ 1,75 ²	2		19:51
2.5	T8	Dokončit tvarovou plochu	300	0,32	1,92	0,3	0,5	28:50
2.6	T9	Zarovnat roh mezi podstavou a šikmou plochou po T8	250	0,25	1,25	0,25		2:20
2.7	T2	Hrubovat středový otvor s přídkem 0,1 mm na stěnu	220	0,6	1,8	1	0,4	2:19
2.8	T4	Srazit hranu na $\varnothing 65$ 1x45°	228	0,2	0,4	1	1	0:11
2.9	T14	Vystružit otvor $\varnothing 65$	133		0,06		0,1	2:13
2.10	M2	Měřit otvor $\varnothing 65H7$ s ohledem na tloušťku pokovení. Požadovaný rozměr po obrobení: $\varnothing 65$ (+0,02, +0,05)						0:15
2.11	M3	Měřit rozměr 29 (-0,1, -0,2) s ohledem na tloušťku pokovení v každém rohu. Požadovaný rozměr po obrobení: 29 (-0,12, -0,22)						0:30

Technologický postup (nový)			Název součásti: Kostka závěsu			Listů: 3		List: 3
Materiál: 1.8928			Polotovar: P 80			Č. výkresu: PAV0295		
Hm. hrubá: 15,54 kg		Hm. čistá: 8,44 kg		Třída odpadu: 51		Výrobní dávka: 50 ks		
Upnutí / úsek	Nástroj / měřidlo	Popis úseku	v_c [m/min]	f_z [mm]	f_{ot} [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	Čas [min:s]
3.1		Upnout do svěráku k dorazu podstavou k pevné čelisti.						0:30
3.2	T12	Vrtat 4x otvor pro závit M16-6H do hl. 38	88		0,15			0:38
3.3	T6	Srazit hrany na dírách pro závity	150	0,1	0,1	1,2	1,2	0:24
3.4		Vyfoukat díry pro závity, mazat pastou EMUGE						0:30
3.5	T15	Řezat 4x závit M16-6H do hloubky 32 mm	9		2			1:58
4.1		Otočit kus a znovu spustit program pro druhou stranu						4:00
4.2	M4	Kontrolovat jeden závit na kusu						0:20
		Odjehlit všechny ostré hrany, očistit a uložit na paletu						1:30
Výrobní časy [min:s]								
Upnutí	Strojní čas		Vedlejší čas			Celkem		
1	14:26		0:50			15:16		
2	57:24		1:15			58:39		
3 a 4	6:00		3:50			9:50		
Σ	77:50		5:55			83:45		

Pro každý úsek byl vytvořen samostatný program. Obsluha stroje tak může programy libovolně kombinovat. Například při výrobě dávky, na které byla provedena optimalizace, se nejdříve zhotovilo 1. upnutí na dvou kusech při jednom spuštění stroje (dva svěráky). Poté se na jedno spuštění stroje zhotovilo 2. a 3. upnutí z obou stran (tři svěráky). Je ale taky možné použít 4 svěráky najednou a vyrábět hotový kus na jedno spuštění stroje nebo výrobu dílu provádět na více strojích.

Ve firmě Ferrit s.r.o. se vyrábějí kompletní důlní stroje. To znamená obrovské množství různých dílů v malých dávkách. Navíc je nutné dodržet návaznost operací (svařování, lakování, montáž,...), tak aby byla výroba co nejplynulejší s co nejmenším množstvím zbytečných prostojů. Možnost libovolně kombinovat jednotlivá upnutí při výrobě složitějších dílů značně usnadňuje schopnost obsluhy strojů a vedení obrobny pružně a rychle reagovat na požadavky pro výrobu.

8 Výpočet výkonu vřetene

Výpočet byl proveden pouze u hrubovacích operací. K největšímu zatížení vřetene totiž dochází při velkém průřezu odebírané vrstvy a velkém posuvu na zub.

Na síly vznikající při procesu obrábění má také velký vliv chemické složení a mechanické vlastnosti obráběného materiálu. Tento vliv je kvantifikován materiálovými konstantami. Měrná řezná síla k_{c1} vyjadřuje sílu, potřebnou k odebrání třísky o průřezu 1 mm^2 . Konstanta m_c vyjadřuje nárůst měrné řezné síly k_c v závislosti na tloušťce třísky.

Na webu společnosti Sandvik Coromant⁹ jsou uvedeny následující hodnoty materiálových konstant pro vysocetlegované oceli tepelně upravené kalením a popouštěním:

- $K_{c1} = 3100 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
- $m_c = 0,25$

8.1 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 1.3

průměr frézy $D = 50$

hloubka záběru $a_p = 31 \text{ mm}$

šířka záběru $a_e = 2,3 \text{ mm}$

posuvová rychlost $v_f = 400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv na zub $f_z = 0,11 \text{ mm}$

Průměrná tloušťka třísky:

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,11 \cdot \sqrt{\frac{2,3}{50}} = 0,0236 \text{ mm}$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = h_m^{-m_c} \cdot k_{c1} = 0,0236^{-0,25} \cdot 3100 = 7909,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výkon vřetene:

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{31 \cdot 2,3 \cdot 400 \cdot 7909,2}{60 \cdot 10^6} = 3,76 \text{ kW}$$

8.2 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 1.6

průměr frézy $D = 32$

hloubka záběru $a_p = 1 \text{ mm}$

šířka záběru $a_e = 10,3 \text{ mm}$

posuvová rychlost $v_f = 4000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv na zub $f_z = 0,6 \text{ mm}$

Průměrná tloušťka třísky:

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{10,3}{32}} = 0,3404 \text{ mm}$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = h_m^{-mc} \cdot k_{c1} = 0,3404^{-0,25} \cdot 3100 = 4058,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výkon vřetene:

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{1 \cdot 10,3 \cdot 4000 \cdot 4058,5}{60 \cdot 10^6} = 2,79 \text{ kW}$$

8.3 Výpočet výkonu vřetene pro úsek 2.4

Tento úsek byl při výpočtu rozdělen na dvě části. První část výpočtu je pro první průchod frézy, kdy je největší šířka záběru a_e . Druhá část výpočtu je pro průchod frézy v hloubce 26 mm od čela, kdy je největší šířka záběru a_e pro rychlejší posuv na zub f_{z2} .

průměr frézy $D = 80$

hloubka záběru $a_p = 2 \text{ mm}$

šířka záběru $a_{e1} = 42 \text{ mm}$

posuvová rychlost $v_{f1} = 1100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv na zub $f_{z1} = 0,2 \text{ mm}$

Průměrná tloušťka třísky:

$$h_{m1} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,2 \cdot \sqrt{\frac{42}{80}} = 0,1449 \text{ mm}$$

Měrná řezná síla:

$$k_{c1} = h_m^{-mc} \cdot k_{c1} = 0,1449^{-0,25} \cdot 3100 = 5024,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výkon vřetene:

$$P_1 = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{2 \cdot 42 \cdot 1100 \cdot 5024,5}{60 \cdot 10^6} = \mathbf{7,74 \text{ kW}}$$

šířka záběru $a_{e2} = 16 \text{ mm}$

posuvová rychlost $v_{f2} = 1400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv na zub $f_{z2} = 0,25 \text{ mm}$

Průměrná tloušťka třísky:

$$h_{m2} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{16}{80}} = 0,1118 \text{ mm}$$

Měrná řezná síla:

$$k_{c2} = h_m^{-mc} \cdot k_{c1} = 0,1118^{-0,25} \cdot 3100 = 5361 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výkon vřetene:

$$P_2 = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{2 \cdot 16 \cdot 1400 \cdot 5361}{60 \cdot 10^6} = \mathbf{4 \text{ kW}}$$

Výkon motoru vřetene slabšího stroje je 17 kW. Účinnost stroje závisí na mnoha faktorech a většinou se pohybuje v rozmezí 0,5-0,9. I při účinnosti 0,5 je však poskytovaný výkon dostačující.

9 Technicko – ekonomické srovnání obou postupů

Základním parametrem pro technicko-ekonomické zhodnocení je výrobní čas, na který se přímo vážou náklady na výrobu. Hodinová sazba stroje je **970,- Kč**. V této kapitole jsou uvedeny i časové a finanční náklady na výrobu dávky 50 kusů. K tomu je potřeba započítat i čas nutný k seřízení stroje. Tento čas je však z důvodu rozmanitosti výroby ve firmě závislý na mnoha faktorech jako například zkušenost operátora, momentální dostupnost nástrojů, počet upnutí vykonaných v jednom programu nebo nutnost obsluhy druhého stroje v průběhu seřizování. Tento čas se proto může pohybovat kdekoliv v rozmezí 0,5 – 6h. Z tohoto důvodu jsou zde uvedeny pouze časové a finanční náklady za předpokladu nulového času seřizování.

Původní postup:

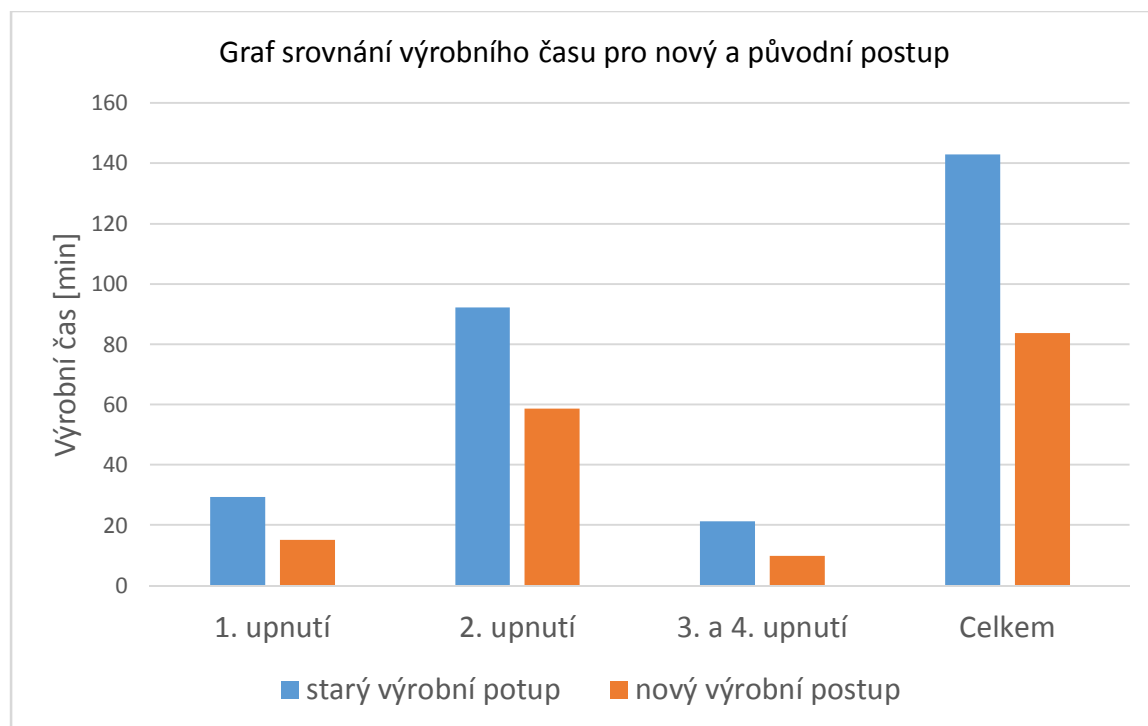
- Výrobní čas při 1. upnutí – 29,4 min/ks,
- výrobní čas při 2. upnutí – 92,3 min/ks,
- výrobní čas při 3. a 4. upnutí – 21,3 min/ks,
- celkový výrobní čas – 143 min/ks,
- náklady na výrobu jednoho kusu – 2312,- Kč,
- náklady na výrobu dávky 50 kusů – 115 600,- Kč.

Nový postup:

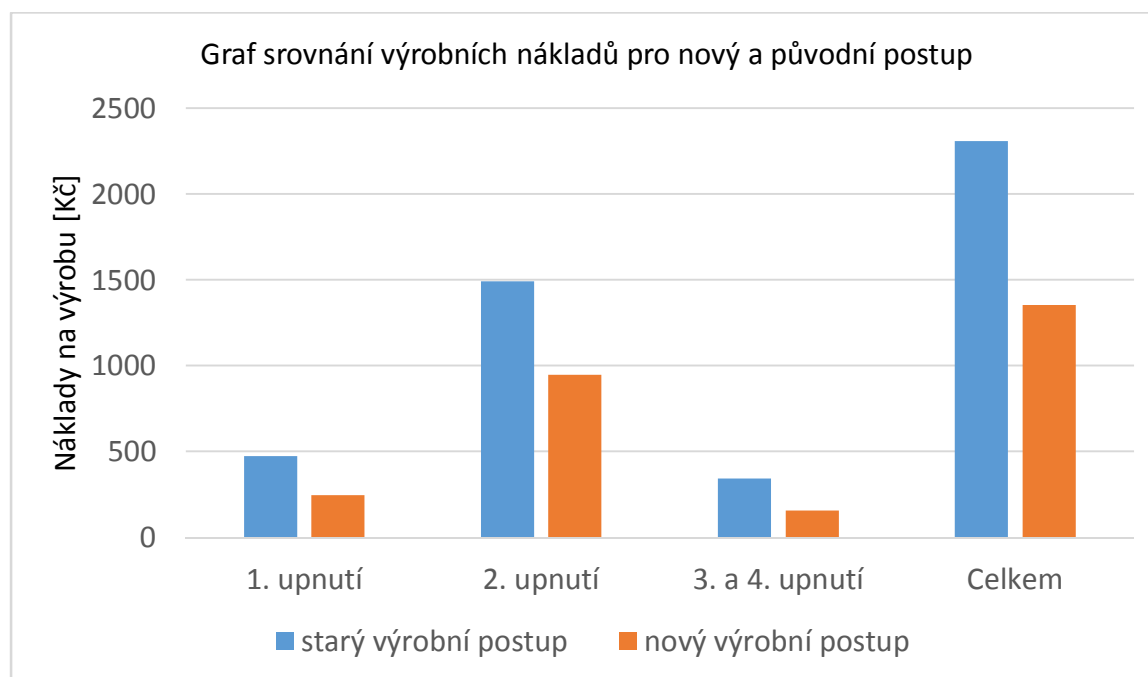
- Výrobní čas při 1. upnutí – 15,3 min/ks,
- výrobní čas při 2. upnutí – 58,7 min/ks,
- výrobní čas při 3. a 4. upnutí – 9,8 min/ks,
- celkový výrobní čas – 83,8 min/ks,
- náklady na výrobu jednoho kusu – 1355,- Kč,
- náklady na výrobu dávky 50 kusů – 67 750,- Kč.

Časová úspora na výrobu jednoho kusu je tedy **59,2 min**. S tím je spojena úspora nákladů na výrobu jednoho kusu, která je vzhledem k hodinové sazbě stroje **957,- Kč**.

Graf 1 – Srovnání výrobního času



Graf 2 – Srovnání výrobních nákladů



10 Závěr

Hlavním cílem práce byla racionalizace výrobního procesu kostky závěsu. Nejprve bylo zapotřebí provést rozbor původního stavu výroby a rozhodnout, které úseky postupu zůstanou zachovány a které budou změněny nebo upraveny.

U vybraných úseků bylo nejdříve potřeba rozhodnout, jestli se bude obrábět původním nástrojem se změněnými řeznými podmínkami nebo se použije nový nástroj. V případě volby jiného nástroje bylo upřednostněno použití nástroje, který již byl součástí vybavení obrobny. V několika případech, ale bylo nutné koupit nový nástroj.

Nejzásadnějším krokem bylo určení nových řezných podmínek pro optimalizované úseky a následná tvorba programů pro jednotlivá upnutí. Některé části programů byly pouze ručně upraveny mnou přímo na samotném CNC stroji. Frézování tvarové plochy bylo vytvořeno technologem pomocí CAM systému na odděleném pracovišti.

Následovalo testování nově zvoleného postupu v praxi. Na základě sledování řezného procesu došlo k dalším úpravám řezných podmínek. V jednom úseku bylo bohužel nutné v této fázi upustit od nově zvolené technologie, která se ukázala jako méně produktivní než technologie původní.

Po nalezení nejvhodnějších řezných podmínek na základě testování při samotné výrobě byly programy pro jednotlivá upnutí upraveny do konečné podoby tak, aby poskytovaly operátorům všechny potřebné informace k seřizování a obsluze při výrobě dílu.

Nakonec bylo provedeno technicko-ekonomické srovnání obou postupů, které ukázalo, že racionalizace přinesla podstatnou časovou a finanční úsporu.

11 Poděkování

Nakonec bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Marku Sadílkovi, Ph.D. za rady a pomoc při vypracování.

Poděkování také patří společnosti Ferrit s.r.o. za umožnění vypracovat bakalářskou práci ve firmě a za poskytnutí veškerých potřebných informací a prostředků. Zejména bych chtěl poděkovat technologovi obrábění p. Gistingerovi za vytvoření programu v CAM systému a za asistenci při testování nového postupu.

12 Citace

1. *O společnosti* [online]. [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://ferrit.cz/o-spolecnosti/>
2. Na slovíčko: s Ing. Pavlem Mohelníkem. *MENTALITA*. Staré Město: Ferrit s.r.o., 2017, (1), 6-9.
3. *S690QL* [online]. [vid. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.milforsteel.cz/S690QL.htm>
4. *S690QL High Yield Structural Steel: Properties and Applications* [online]. [vid. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5266>
5. Obrobitelnost, AB Sandvik Coromant. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. 1. české vydání. Praha: Scientia, 1997, II-6 - II-12. ISBN 91-97 22 99-4-6.
6. *MCV 1270: Technické parametry* [online]. [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html#technicaldata>
7. *MCFV 1680: Technická data* [online]. [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv1680_cz.pdf
8. *Plunge milling: How to apply* [online]. [vid. 2018-03-10]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/gb/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/plunge_milling
9. *ISO P Oceli: MC kódy pro oceli* [online]. [vid. 2018-05-06]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx

13 Seznam obrázků, tabulek a grafů

13.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Vertikální obráběcí centrum MCV 1270.....	13
Obr. 2: Vertikální obráběcí centrum MCFV 1680.....	14
Obr. 3: Použitý mechanicko-hydraulický svěrák se speciálními čelistmi s čepy	15
Obr. 4: Použitá nástrčná ježková fréza Ø50 mm.....	23
Obr. 5: Použitý vrták Ø43 mm s VBD upnutý v upínači WELDON.....	24
Obr. 6: Použitá fréza pro hrubování středového otvoru.....	24
Obr. 7: Schématické znázornění technologie „Plunge milling“	25
Obr. 8: Vyhrubovaná tvarová plocha technologií „Plunge milling“	25
Obr. 9: použitá fréza pro plundrování Ø40 mm.....	26
Obr. 10: Tvarová plocha vyhrubovaná radiálním frézováním	27
Obr. 11: Původní a nová použitá fréza pro hrubování tvarové plochy.....	27
Obr. 12: Použitá fréza pro dokončení tvarové plochy Ø42 mm.....	28
Obr. 13: Korunkový vrták pro vrtání otvorů pro závity.....	29

13.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Chemické složení materiálu.....	11
Tab. 2: Mechanické vlastnosti materiálu.....	11
Tab. 3: Technické parametry strojů pro výrobu dílu.....	13
Tab. 4: Seznam měřidel.....	14
Tab. 5: Seznam nástrojů pro původní postup.....	16
Tab. 6: Původní technologický postup.....	20
Tab. 7: Seznam nástrojů pro nový postup.....	30
Tab. 8: Nový technologický postup.....	35

13.3 Seznam grafů

Graf 1: Srovnání výrobního času.....	43
Graf 2: Srovnání výrobních nákladů.....	43

14 Seznam příloh

Příloha A: Výkres dílu ve formátu A3

Zvláštní příloha: CD obsahující:

- bakalářskou práci ve formátu .pdf,
- výkres dílu ve formátu .pdf.